

**PENGARUH AKTIVITAS ANTROPOGENIK DI SUNGAI CILIWUNG
TERHADAP KOMUNITAS LARVA TRICHOPTERA**
(*Effect of Anthropogenic Activities on Trichoptera Larvae Community in
Ciliwung River*)

Jojok Sudarso*, Yusli Wardiatno, Daniel Djoko Setiyanto***, dan Woro
Anggraitoningsih*****

*Program Studi Sumber Daya Perairan, Departemen Manajemen Sumber Daya Perairan
(MSP), Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK), Institut Pertanian Bogor, Bogor

*Puslit Limnologi-LIPI, Jl. Jakarta-Bogor Km 46, Cibinong, Bogor,
email:denmaskoyoy@hotmail.com

**Departemen MSP, FPIK, Institut Pertanian Bogor, Bogor

***Jurusan Budidaya Perairan, FPIK, Institut Pertanian Bogor, Bogor
Puslit Biologi-LIPI, Jl. Jakarta-bogor km 46, 16911, Cibinong, Bogor

Diterima: 21 Desember 2012

Disetujui: 4 Februari 2013

Abstrak

Sungai Ciliwung merupakan salah satu sungai besar di Provinsi Jawa Barat yang sekarang telah mengalami pencemaran organik dan kontaminasi oleh logam merkuri. Adanya pencemaran di Sungai Ciliwung dikhawatirkan dapat mengganggu keseimbangan ekologi dari larva serangga Trichoptera. Oleh sebab itu tujuan dari penelitian ini adalah mengungkap pengaruh aktivitas antropogenik pada Sungai Ciliwung terhadap komunitas larva Trichoptera. Pengambilan larva dilakukan dengan menggunakan jala surber dengan lima kali ulangan setiap lokasi. Analisis korelasi *pearson-product moment* menunjukkan adanya korelasi yang kuat ($r > 0,5$) antara metrik biologi jumlah taksa, jumlah skor *Stream Invertebrate Grade Number-Average level SIGNAL*, % kelimpahan dominansi 3, dan indeks SIGNAL dengan variabel lingkungan: suhu air, *coarse particulate organic matter* (CPOM), kandungan oksigen terlarut (DO), konduktivitas, total padatan tersuspensi (TDS), C dan N dalam partikulat, nitrat, amonium, ortofosfat, COD, logam merkuri di air dan sedimen, indeks habitat, distribusi partikel, turbiditas, indeks kimia Kirchoff, dan indeks pencemaran logam merkuri di sedimen. Larva Trichoptera *Helicopsyche*, *Apsilochorema*, *Caenota*, *Ulmerochorema*, *Chimarra*, *Antipodoecia*, *Diplectrona*, *Anisocentropus*, *Lepidostoma*, *Genus Hel.C* cenderung dicirikan oleh tingkat pencemaran organik yang rendah, tingginya komposisi % kerikil dan CPOM, dan kondisi habitat yang minim mengalami gangguan. Sebaliknya *Glossosomatidae genus 1*, *Cheumatopsyche*, *Setodes*, dan *Tinodes* cenderung lebih toleran terhadap polutan organik, rendahnya CPOM, tingginya variabel turbiditas, konsentrasi merkuri di sedimen, TDS, dan % clay.

Kata Kunci: larva Trichoptera, Sungai Ciliwung, pencemaran organik, merkuri

Abstract

Ciliwung River is one of the major rivers in the area of West Java which is influenced by organic pollution and mercury contamination. The contamination may disrupt the ecological balance of Trichoptera insect larvae. Therefore, the aim of this study is to reveal the influence of anthropogenic activities occurring in the Ciliwung River on Trichoptera larvae community. Larvae collection was conducted using surber with five replications per location. Pearson-product moment correlation analysis showed a strong correlation ($r > 0.5$) between the number of taxa biological metrics, the number of scores *Stream Invertebrate Grade Number-Average (SIGNAL)*, and % abundance of three dominance Trichoptera larvae with environmental variables, i.e. water temperature, coarse particulate organic matter (CPOM), dissolved oxygen (DO), conductivity, total suspended solids (TDS), C and N in the seston, nitrate, ammonium, orthophosphoric, chemical oxygen demand (COD), metallic mercury in

water, sediment, habitat index, distribution of particles, turbidity, chemical Kirchoff index, and index mercury pollution in sediments. Larvae of Trichoptera *Helicopsyche*, *Apsilochorema*, *Caenota*, *Ulmerochorema*, *Chimarra*, *Antipodoecia*, *Diplectrona*, *Anisocentropus*, *Lepidostoma*, and Genus *Hel.C* tend to be characterized by low organic pollution, % gravel, CPOM, and minimum disruption habitat conditions. While *Glososomatidae* Genus 1, *Cheumatopsyche*, *Setodes*, and *Tinodes* are relatively more tolerant to organic pollutant, low CPOM, high turbidity, the concentration of mercury in sediment, TDS, and % clay.

Key words: *Trichoptera* larvae, Ciliwung River, organic pollution, mercury.

PENDAHULUAN

Pengaruh aktivitas antropogenik terhadap ekosistem sungai telah mendorong berkembangnya konsep indikator biologi guna mengetahui status kesehatan dari sebuah ekosistem perairan (Norris & Thoms 1999). Salah satu biota yang sering dijumpai di Sungai Ciliwung dan memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai indikator biologi adalah larva Trichoptera. Penggunaan hewan tersebut sebagai indikator biologi didasarkan pada beberapa pertimbangan yaitu: 1) Distribusinya yang luas (Mackay & Wiggins 1979), 2). Kepadatannya relatif tinggi, 3) Sensitifitas yang relatif tinggi terhadap pencemaran melalui perubahan morfologi, kemampuan akumulasi, maupun perilakunya (Sola & Prat 2006), 4) Keanekaragaman spesies yang tinggi hingga ± 13.000 spesies (Holzenthal 2009) 5). Siklus hidup relatif panjang dengan lima tahap perkembangan instar (Wiggins 1996), 6). Peran penting dalam rantai makanan sebagai dekomposer dan mangsa bagi burung maupun ikan, 7) Ukurannya relatif besar yaitu 1-3 cm dengan berat dapat mencapai 30-100 mg (Vuori & Kukkonen 1996; Berra *et al.* 2006), 8) Tubuh relatif keras sehingga memudahkan dalam melihat abnormalitas/kecacatan (Vuori & Kukkonen 1996), dan 9). Waktu identifikasi larva lebih singkat karena tidak memerlukan prosedur *mounting*.

Aktivitas antropogenik dapat mempengaruhi input dari bahan organik, nutrisi, maupun logam berat ke ekosistem sungai melalui perubahan penggunaan lahan maupun urbanisasi (Singer & Battin 2007). Adanya pencemaran organik dan kontaminasi logam berat di ekosistem sungai

telah diketahui dapat mengubah stabilitas komunitas larva Trichoptera (Winner *et al.* 1980). Pengaruh polutan tersebut dapat menurunkan keanekaragaman spesies, kepadatan, menghilangkan spesies yang tergolong sensitif (Timm *et al.* 2001; Chakrabarty & Das 2006), mengubah produktivitas sekunder, dan biomasnya (Carlisle & Clements 2003). Sedangkan efek tidak langsung mungkin berupa modifikasi interaksi spesies dan penurunan kualitas makanan (Courtney & Clements 2002). Pada skala luas dapat mempengaruhi siklus perombakan materi organik (CPOM), rantai makanan, maupun integritas ekologi perairan (Dahl *et al.* 2004).

Sungai Ciliwung merupakan salah satu sungai besar di daerah Jawa Barat yang memiliki aspek penting bagi sektor pertanian (irigasi), industri, maupun bahan baku air minum untuk daerah Bogor dan Jakarta (Kido *et al.* 2009). Berdasarkan kajian ekologis yang dilakukan oleh BPLHD Jawa Barat tahun 2006 menunjukkan kualitas Sungai Ciliwung di bagian hulu (Cisarua) hingga hilir (Ancol) telah menurun kualitasnya akibat pencemaran organik (konsentrasi oksigen terlarut /DO dari 8 mg/l - 0,2 mg/l, TOM dari 0,02 mg/l - 0,1 mg/l, TSS dari 0,01 - 0,6 mg/l). Di samping itu Sungai Ciliwung juga tercemar oleh logam merkuri (0,23-0,30 ppb), bisphenol A (0,46-0,83 $\mu\text{g/l}$) dan alkil fenol (33,2-191,4 $\mu\text{g/l}$) yang tergolong cukup tinggi (Kido *et al.* 2009). Adanya kontaminasi logam merkuri dapat menjadi isu utama dari sisi lingkungan maupun kesehatan, karena logam tersebut memiliki daya toksisitas akut dan kronis yang tinggi bagi makhluk hidup (Bank *et al.* 2007). Konsentrasi merkuri di air yang

mencapai 0,26 ppb dapat menimbulkan toksisitas kronis bagi ikan *Pimephales promelas* (US-EPA 1986). Adanya pencemaran yang terjadi di Sungai Ciliwung dikhawatirkan dapat mengganggu keseimbangan ekologi larva Trichoptera dan menurunkan integritas ekologi secara keseluruhan. Oleh sebab itu penelitian ini yang bertujuan untuk mengungkap pengaruh aktivitas antropogenik pada Sungai Ciliwung terhadap komunitas larva Trichoptera dan mengkaji faktor lingkungan penting yang berkontribusi dalam mengatur struktur komunitas tersebut.

METODE PENELITIAN

Desain penelitian ini menggunakan pendekatan survei *post facto* dan dilakukan selama delapan bulan (Oktober – Mei 2011) di beberapa ruas Sungai Ciliwung. Lokasi penelitian ditetapkan secara *purposive* yang didasarkan pada pertimbangan besarnya beban dan sumber pencemar yang masuk ke Sungai Ciliwung. Pemilihan *site*/situs mulai dari sedikit mengalami gangguan (*reference site*/ situs rujukan) hingga situs yang

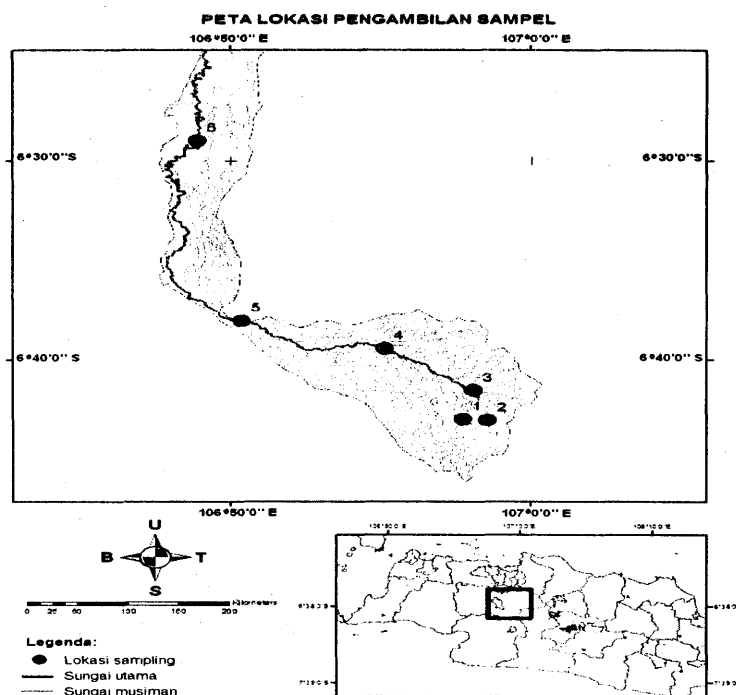
diprediksi telah mengalami gangguan dan masih termasuk dalam gradien tinggi. Lokasi yang digunakan selama penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Gambar 1**.

Sampel air untuk tujuan analisis kimia (selain merkuri) dimasukkan dalam botol sampel bervolume 500 ml. Untuk tujuan analisis logam merkuri, cuplikan air diambil sebanyak 250 ml dan dimasukkan dalam botol sampel 250 ml yang sebelumnya sudah dibilas dengan larutan asam nitrat 5%. Pengambilan sampel sedimen untuk analisis logam dilakukan dengan menggunakan skop kecil dari bahan plastik sebanyak 0,5 liter yang dimasukkan dalam botol kaca *Scott* 500 ml. Untuk analisis distribusi partikel, sedimen yang diperlukan sebanyak $\pm 0,5$ kg dalam kantong plastik. Sampel air dan sedimen dimasukkan dalam *cooling box*.

Analisis fisik yang diukur secara langsung di lapangan meliputi parameter kecepatan arus, turbiditas, konduktivitas, dan suhu air. Parameter fisik dan kimia air semuanya dianalisis di laboratorium ekotoksikologi dan hidrokimia Puslit Limnologi-LIPI. Macam analisis fisik dan kimia perairan yang diukur selama penelitian disajikan dalam **Tabel 2**.

Tabel 1. Titik koordinat lokasi penelitian di Sungai Ciliwung.

No	Nama Lokasi	Titik koordinat	Macam gangguan aktivitas antropogenik
1	Gunung Mas 1	6°42'4,38" LS, 106°58'12,49" BT	Situs rujukan (Minim gangguan)
2	Gunung Mas 2	6°41'57,62" LS, 106°59'16,22" BT	Situs rujukan (Minim Gangguan)
3	Kampung Pensiunan	6°42'05,11" LS, 106°58'26,75" BT	Perkebunan teh
4	Kampung Jog-jogan	6°40'41,47" LS, 106°55'58,17" BT	Pertanian, pemukiman penduduk, dan perkebunan.
5	Katulampa	6°38'02,03" LS, 106°50'21,29" BT	Pemukiman penduduk, perkotaan, penambangan pasir dan batu.
6	Cibinong (PDAM)	6°28'58,55" LS, 106°48'53,05" BT	Limbah domestik, perkotaan dan industri.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel di Sungai Ciliwung

Pengambilan sampel biologi (larva Trichoptera) dengan menggunakan jala *surber* (ukuran 30 cm x 30 cm dengan lebar mata jaring 0,2 mm). Jala *surber* dipasang di atas permukaan batu dan disikat dengan sikat gigi halus, sehingga hewan yang menempel di batu akan terbawa hanyut masuk ke jala *surber*. Pengambilan sampel dilakukan pengulangan sebanyak lima kali dan dilakukan komposit menjadi satu sampel (Carter & Resh 2001). Serasah yang tertahan dalam saringan dimasukkan dalam wadah toples plastik dan diberi pengawet larutan formalin 10 % (Jin & Ward 2007). Sortir larva Trichoptera dilakukan di bawah mikroskop stereo dengan pembesaran 10-45 kali. Hewan dimasukkan dalam botol flakon yang sudah ditambah dengan larutan pengawet alkohol 70%. Di samping itu juga dilakukan pengukuran panjang dan lebar jaring dari sarang larva Trichoptera dengan menggunakan mikrometer.

Identifikasi larva Trichoptera diusahakan hingga level genus dengan menggunakan buku identifikasi dari Gooderham & Tsyrlin (2003) dan Dean *et al.* (2010).

Analisis Data

Prediksi gangguan yang terjadi pada habitat di sekitar lokasi penelitian dilakukan dengan menggunakan sistem *scoring* dari US-EPA (1999). Masing-masing skor dari setiap metrik dilakukan penjumlahan, sehingga diperoleh nilai skor total dari indeks habitat.

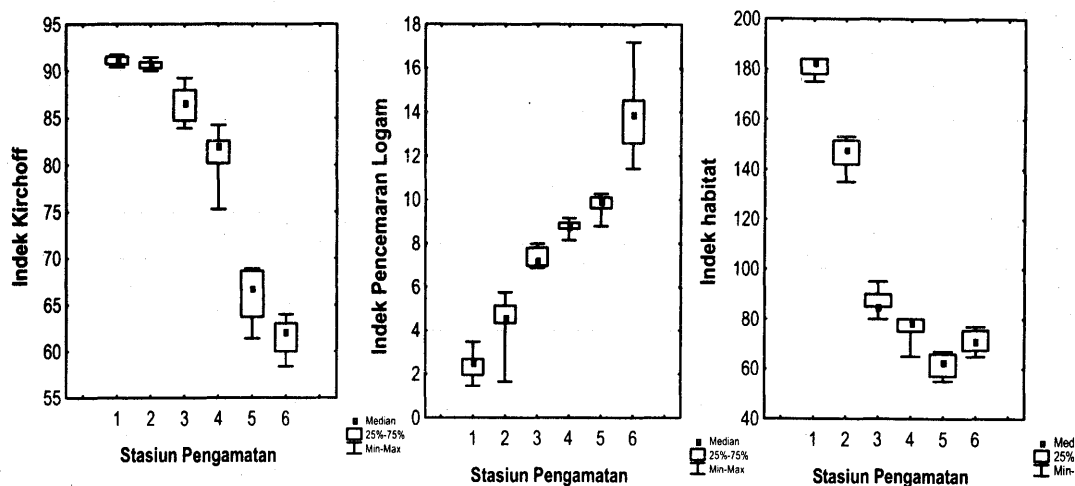
Status pencemaran organik di Sungai Ciliwung diprediksi dengan menggunakan indeks kimia (Kirchoff 1991), sedangkan status kontaminasi logam merkuri di sedimen dengan modifikasi indeks pencemaran logam (Chen *et al.* 2005). Komponen parameter kimia dan fisik yang digunakan untuk menghitung indeks kimia meliputi: DO, pH, suhu, amonium, nitrat, ortofosfat, dan konduktivitas.

Tabel 3. Nilai rerata variabel kualitas fisik dan kimia Sungai Ciliwung. Nilai dalam kurung merupakan nilai kisaran tertinggi dan terendah.

Parameter	Stasiun Pengamatan					
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St.5	St.6
Suhu air ($^{\circ}\text{C}$)	18,10 (18,3-18)	19 (19,5-18,7)	19,69 (20,6-18,6)	20,49 (21,3-19,7)	25,38 (26,4-23,8)	27,10 (28,9-25,6)
Kecepatan arus (m/det)	0,63 (0,8-0,4)	0,35 (0,4-0,2)	0,77 (1,1-0,57)	0,46 (0,5-0,4)	1,66 (1,9-1,5)	1,72 (1,95-1,36)
Distribusi partikel						
- % Kerikil	82,740 (86,7-79,3)	55,1 (60,6-49,5)	53,34 (56,5-50,7)	6,44 (7,5-5,03)	9,88 (11,9-8,42)	2,23 (3,7-1,07)
- % Pasir	16,84 (20,8-12,5)	43,32 (49,27-8,58)	45,95 (49,29-3,38)	91,75 (93,18-89,27)	89,41 (90,83-86,98)	93,42 (95,28-93,29)
- % Clay dan tanah liat	0,421 (0,85-0,09)	1,58 (3,05-0,84)	0,716 (1,83-0,04)	1,81 (3,50-0,71)	0,72 (1,46-0,04)	4,35 (7,24-1,81)
Turbiditas (NTU)	4,44 (6,05-3,87)	5,83 (6,37-4,9)	13,87 (16-12,3)	25,86 (27,8-24,32)	29,77 (31-28,32)	32,30 (34,71-28,6)
Konduktivitas ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	61,63 (63,3-61)	91,00 (92,5-85,8)	100,20 (101-99,4)	195,54 (196,7-193,1)	226,13 (241-221)	252,38 (255-250)
pH air	6,83 (7-6,5)	6,80 (7-6,5)	6,29 (6,5-6)	6,09 (6,5-6)	6,26 (6,8-6)	6,95 (7,6-6)
Oksigen terlarut (mg/l)	8,10 (8,7-7,7)	8,01 (8,5-7,5)	7,58 (8,5-7,1)	7,58 (7,8-7,2)	6,39 (6,56-6,27)	6,49 (6,83-6,25)
COD (mg/l)	5,1 (5,8-4,04)	5,88 (7,8-5,01)	15,32 (16,3-14,08)	17,902 (20,32-15,9)	27,91 (29,58-21,57)	36,22 (51,49-23,55)
Amonium (mg/l)	0,009 (0,03-0,001)	0,012 (0,02-0,001)	0,064 (0,12-0,022)	0,277 (0,779-0,216)	0,978 (1,337-0,586)	0,920 (1,021-0,967)
Nitrat ($\text{N}-\text{NO}_3$)	0,42 (0,59-0,13)	0,60 (0,72-0,32)	1,17 (1,72-0,65)	1,69 (3,57-0,75)	4,17 (5,57-1,56)	8,57 (20,58-3,78)
Ortofosfat ($\text{O}-\text{PO}_4$)	0,06 (0,11-0,02)	0,04 (0,13-0,001)	0,10 (0,13-0,03)	0,33 (0,5-0,11)	0,41 (0,8-0,27)	0,50 (0,66-0,37)
Kesadahan (mg/l setara CaCO_3)	17,84 (23,8-6,19)	19,58 (32,23-7,88)	26,12 (40,3-13,43)	28,60 (57,47-11,28)	36,80 (59,45-12,66)	31,67 (61,47-10,3)
Seston						
- C (mg/l)	0,25 (0,28-0,22)	0,24 (0,26-0,21)	0,31 (0,31-0,0,29)	0,35 (0,405-0,33)	0,46 (0,49-0,0,43)	0,59 (0,62-0,52)
- N (mg/l)	0,03 (0,04-0,03)	0,03 (0,04-0,02)	0,05 (0,05-0,04)	0,06 (0,07-0,06)	0,07 (0,07-0,06)	0,08 (0,09-0,07)
Hg di air (ppb)	0,074 (0,15-0,03)	0,250 (0,4-0,21)	0,648 (0,77-0,57)	0,922 (1,01-0,8)	1,150 (1,27-0,92)	2,34 (3,55-1,5)
Hg di sedimen (ppb)	7,215 (11,9-4,56)	10,481 (15,63-5,98)	50,130 (71,4-65,28)	64,337 (89,47-51,22)	69,928 (97,3-41,59)	80,58 (125,3-56,46)
Hg di trichoptera (ppm)	0,131 (0,14-0,11)	0,19 (0,20-0,17)	0,245 (0,28-0,21)	0,276 (0,26-0,29)	0,323 (0,35-0,3)	0,36 (0,40-0,32)
CPOM (gr berat kering)	101,63	93,19	54,88	20	13,77	9,77
TOM (mg/l)	4,16 (148,9-65,8)	4,61 (132,1-63,2)	5,12 (68,2-41,81)	7,46 (30,92-12,63)	9,75 (25,65-10,82)	11,77 (10,94-6,93)
Lebar jaring (μ meter)	465,3 (5,74-3,28)	302 (5,71-3,75)	234,8 (6,28-3,30)	224,6 (9,71-5,30)	223,8 (12,56-7,92)	220,3 (14,27-9,42)
Panjang jaring (μ meter)	625 (337-600)	522 (562-187,5)	405 (262-225)	392 (232-217)	310 (229-221)	231,4 (225-187,5)
	(787-487)	(712-413)	(450-375)	(413-372)	(375-225)	(232-225)

konduktivitas (61,63-252 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$), COD (5,1-36,22mg/l), amonium (0,009-0,920 mg/l), nitrat (0,42-8,57 mg/l), ortofosfat (0,06-0,50 mg/l), kesadahan (17,84-31,67 mg/l CaCO_3), seston (C:0,25-0,59 mg/l,

N:0,03-0,08 mg/l), TOM (416-11,77), merkuri di air (0,074-2,34 ppb), sedimen (7,22-80,58 ppb), maupun yang terakumulasi di tubuh Trichoptera (0,131-0,36 ppm). Sedangkan variabel CPOM



Gambar 2. Status gangguan yang terjadi pada sungai Ciliwung berdasarkan indeks kimia Kirchoff (a), indeks pencemaran logam merkuri (b), dan indeks habitat (c).

cenderung menurun (101,63-9,77 gr berat kering).

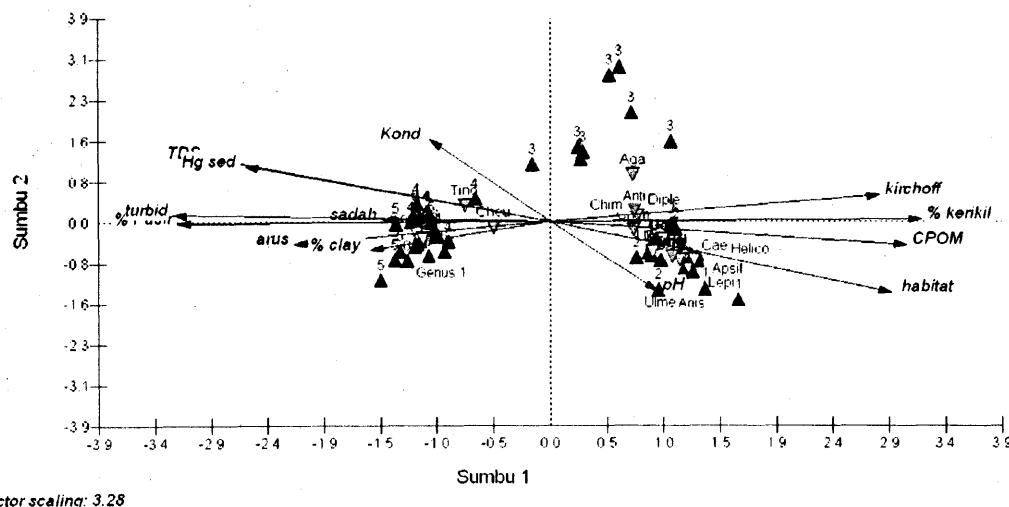
Tingkat gangguan akibat pencemaran organik dengan menggunakan indeks kimia pada setiap lokasi pengamatan disajikan dalam **Gambar 2a**. Dari grafik *whisker & plot* dapat diketahui bahwa stasiun 1 dan 2 (Gunung Mas) nilai indeksnya berkisar dari 91,745-90,017 yang mengindikasikan status perairan belum mengalami pencemaran, stasiun 3 (Kampung Pensiunan) dan 4 (Kampung Jog-jogan) memiliki nilai 89,251-74,285 dengan status perairan tercemar ringan, dan stasiun 5 (Bendung Katulampa) dan 6 (Cibinong) memiliki nilai 68,75-58,39 dengan kondisi status perairannya tercemar sedang.

Tingkat kontaminasi logam merkuri di sedimen yang didasarkan pada rasio terhadap situs rujukan (G. Mas) disajikan dalam **Gambar 2b**. Dari gambar tersebut tampak daerah situs rujukan (G. Mas 1) masuk dalam kategori tercemar ringan (1-0,7). Stasiun Gunung Mas 2 dalam kategori tercemar ringan hingga sedang (1,1-0,7). Stasiun Kampung Pensiunan hingga Katulampa dalam kategori tercemar sedang hingga berat (2,8-1,8). Sedangkan Stasiun Cibinong dalam kategori tercemar berat (3,2-2,2).

Tingkat gangguan habitat di lokasi penelitian dengan menggunakan indeks

habitat disajikan dalam **Gambar 2c**. Dari gambar tersebut tampak Stasiun Gunung Mas 1 dalam kategori optimal/ gangguan sangat minim (184-175). Stasiun Gunung Mas 2 dalam kategori optimal hingga sub optimal (153-135). Stasiun Kampung Pensiunan, Jog-jogan, dan Cibinong dalam kategori *marginal* (95-65). Sedangkan Stasiun Katulampa dalam status *marginal* hingga gangguan berat (67-55).

Hasil ordinasasi antara komunitas Trichoptera dengan variabel lingkungan dengan CCA disajikan dalam grafik triplot (**Gambar 3**). Dari dua sumbu utama grafik tersebut didapatkan nilai *eigenvalue* sebesar 0,533 dan 0,177 dengan informasi kumulatif *constrain* yang menjelaskan sebesar 77 %. Adanya korelasi yang kuat antara spesies dengan variabel lingkungan terjadi pada sumbu 1 sebesar 0,977 dan pada sumbu 2 sebesar 0,941. Dari hasil uji multikolinearitas didapatkan variabel yang saling berautokorelasi ($r > 0,8$) yaitu: suhu air, DO, konsentrasi C dan N pada partikulat, amonium, COD, TOM, indeks pencemaran logam di sedimen, Hg air, % clay, ortofosfat dan indeks kimia (Kirchoff 1991). Guna mewakili variabel yang saling berautokorelasi tersebut, maka dipilih salah satu variabel yaitu indeks kimia. Dipilihnya indeks tersebut karena indeks tersebut tersusun dari beberapa variabel yaitu: suhu,



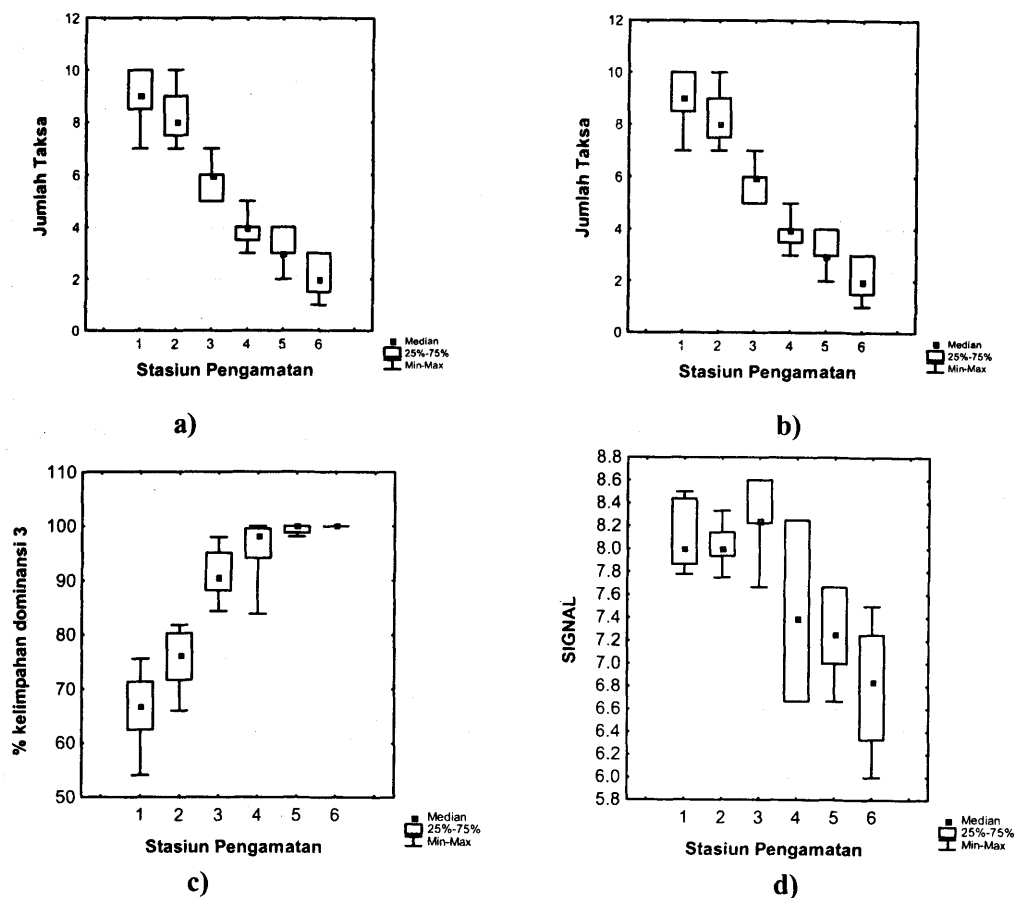
Gambar 3. Grafik triplot hasil ordinasi komunitas Trichoptera dengan variabel lingkungan di Sungai Ciliwung

DO, pH, nitrat, amonium, dan konduktivitas. Di samping itu indeks tersebut mencerminkan gangguan akibat pencemaran organik di perairan.

Pada **Gambar 3** secara umum menunjukkan ada tiga pengelompokan stasiun pengamatan yaitu kelompok I terdiri atas stasiun Gunung Mas (1 dan 2), kelompok dua merupakan stasiun Kampung Pensiunan (3), dan kelompok III adalah Kampung Jog-jogan, Katulampa, dan Cibinong. Semakin panjang panah yang mengarah pada spesies dan stasiun pengamatan, maka kontribusi variabel tersebut pada spesies dan stasiun pengamatan akan semakin besar. Trichoptera yang hidup di Stasiun Gunung Mas misalnya: *Helicopsyche*, *Apsilochorema*, *Caenota*, *Ulmerochorema*, *Chimarra*, *Antipodoecia*, *Diplectrona*, *Anisocentropus*, *Lepidostoma*, dan *Genus Hel.C* cenderung dicirikan oleh kondisi pencemaran organik yang rendah (Kirchoff = 91,675-90,02), % kerikil (86,67-49,5), CPOM (148,99-63,21 gram berat kering), dan kondisi habitat yang minim mengalami gangguan (184-135). Di samping itu hewan tersebut juga memiliki kecenderungan hidup

dengan karakteristik rendahnya turbiditas (6,37-3,83 NTU), konsentrasi Hg di sedimen (15,7-4,6), dan TDS (47,6- 19,1 ppm). Sebaliknya untuk larva Trichoptera Genus Glososomatidae genus 1, *Cheumatopsyche*, *Setodes*, dan *Tinodes* relatif lebih toleran terhadap polutan yang cenderung menyukai hidup pada kondisi perairan dengan tingginya variabel turbiditas (34,20-24,32 NTU), konsentrasi merkuri di sedimen (0,13-0,43 ppb), TDS (121-95,5 ppm), % clay (7,2 – 0,04), pencemaran organik (Kirchoff = 84,3 -60,1), kecepatan arus (1,95-1,36 m/det), dan rendahnya CPOM (30,9-6,93 gr berat kering).

Gangguan pada komunitas Trichoptera akibat aktivitas antropogenik di Sungai Ciliwung dapat dilihat dalam **Gambar 4**. Dari 4 metrik biologi yang digunakan dalam menceminkan gangguan, maka terlihat metrik kekayaan taksa (10-1), jumlah nilai toleransi SIGNAL (70-6), dan indeks SIGNAL (8,5-6) cenderung mengalami penurunan oleh aktivitas antropogenik (pencemaran maupun perubahan habitat). Sedangkan metrik % kelimpahan dominansi 3 adanya aktivitas antropogenik menunjukkan *trend* semakin meningkat (54-



Gambar 4. Grafik *Whisker & Plot* metrik biologi dalam mencerminkan gangguan di Sungai Ciliwung.

100). Pada indeks SIGNAL pada grafik *Whisker & Plot* masih terlihat adanya *overlapping* antara daerah yang diprediksi belum mengalami gangguan (Gunung Mas) dengan Stasiun Kampung Pensiunan (3) yang diprediksi telah mengalami gangguan ringan. Dari indeks SIGNAL terlihat bahwa indeks tersebut relatif kurang sensitif dalam memisahkan daerah yang belum dengan yang sudah mengalami gangguan oleh aktivitas antropogenik.

Hasil korelasi sederhana *pearson-product moment* antara variabel lingkungan dengan indeks biologi dapat dilihat dalam Tabel 4. Dari tabel tersebut tampak adanya korelasi yang cukup kuat ($r = 0,5 < 0,75$) hingga sangat kuat ($r = 0,9 < 1$) antara variabel suhu air, CPOM, DO, konduktivitas, TDS, konsentrasi C dan N dalam partikulat, nitrat, amonium, ortofosfat, COD, TOM, logam

merkuri di air, sedimen, indeks habitat, distribusi partikel (% kerikil dan % pasir), turbiditas, indeks kimia, dan indeks pencemaran logam merkuri di sedimen dengan metrik biologi: jumlah taksa, jumlah skor SIGNAL, % kelimpahan dominansi 3, dan indeks SIGNAL. Sedangkan variabel lainnya pH air, kesadahan, kecepatan arus dan distribusi partikel (% clay) tidak berkorelasi kuat dengan indeks biologi di atas.

Adanya aktivitas antropogenik yang terjadi di Sungai Ciliwung dapat berpengaruh pada kondisi kualitas airnya, habitat, maupun komunitas larva Trichoptera. Menurunnya kualitas air Sungai Ciliwung dari penelitian ini lebih banyak disebabkan oleh masuknya bahan organik yang *biodegradable* dan kontaminasi logam merkuri di perairan. Pengkayaan bahan

Tabel 4. Korelasi antara variabel lingkungan dengan indeks biologi. Huruf yang dicetak tebal menunjukkan tingkat signifikan pada level $\alpha = 95\%$

Variabel	Jml taksa	Jml Skor Signal	% kelim-pahan dom. 3	Indeks Signal
Suhu air	-0,817	-0,815	0,719	-0,65
pH	0,251	0,252	-0,297	0,009
Sadah	-0,42	-0,47	0,322	-0,41
CPOM	0,862	0,88	-0,83	0,61
DO	0,81	0,79	-0,70	0,57
Konduktivitas	-0,91	-0,92	0,83	-0,74
TDS	-0,92	-0,92	0,94	-0,55
Kec. Arus	-0,38	-0,39	0,47	-0,38
C	-0,85	-0,87	0,75	-0,75
N	-0,91	-0,91	0,82	-0,72
Nitrat	-0,62	-0,63	0,52	-0,59
Amonium	-0,78	-0,78	0,68	-0,67
Ortho-fosfat	-0,78	-0,81	0,71	-0,71
COD	-0,86	-0,86	0,77	-0,63
Hg air	-0,81	-0,82	0,72	-0,67
Hg Sedimen	-0,81	-0,79	0,81	-0,41
Indeks Habitat	0,89	0,88	-0,93	0,48
% Kerikil	0,9	0,89	-0,86	0,67
% Pasir	-0,90	-0,89	0,86	-0,67
% clay	-0,47	-0,45	0,412	-0,40
Turbiditas	-0,94	-0,93	0,88	-0,69
TOM	-0,82	-0,83	-0,71	-0,82
Indeks kimia kirchoff	0,85	0,86	-0,75	0,70
Indeks pencemaran logam	-0,89	-0,87	0,85	-0,67

organik di perairan diindikasikan dengan meningkatnya bebe-rapa variabel penting antara lain: TOM (3,28-14,27 mg/l), COD (5,1-36,22 mg/l), ammonium (0,009-0,92 mg/l), nitrat (0,42-8,57 mg/l), ortofosfat (0,06-0,5 mg/l), dan sebagainya. Dari indeks kimia dapat dike-tahui status mutu air Sungai Ciliwung akibat pencemaran organik yang masuk dalam kategori dari belum tercemar (G. Mas) hingga tercemar sedang (Katulampa-Cibinong). Meningkatnya bahan organik di Sungai Ciliwung secara umum disebabkan oleh aktivitas antropogenik yang bersumber dari pertanian, perkebunan, limbah rumah tangga, pasar tradisional, pelindihan tumpukan sampah, maupun industri yang berada di sekitar bantaran sungai tersebut.

Meningkatnya perubahan tutupan lahan yang terjadi di DAS Ciliwung juga mendorong meningkatnya masukan beban organik ke sungai tersebut. Dari data Kementrian Lingkungan Hidup tahun 2009 tentang perubahan tutupan lahan DAS Ciliwung tahun 2000-2008 menunjukkan luas hutan dari 4918 ha menurun menjadi 1256 ha, kebun campuran meningkat dari 6502 ha menjadi 8994 ha, dan pemukiman meningkat dari 24.833 ha menjadi 35.790 ha (Anonim 2011). Adanya *runoff* dari area persawahan dan perkebunan akan meningkatkan bahan organik ke sungai. Hasil pemantauan Sungai Ciliwung yang dilakukan oleh Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan (Pusarpedal) tahun 2011 menunjukkan kualitas air dari Gunung

Putri (puncak) hingga Mangga Dua (Jakarta) dibandingkan dengan kelas mutu air I, II, III (PP no 82 tahun 2001 dalam kondisi status tercemar sedang hingga berat. Pada penelitian ini status pencemaran di Sungai Ciliwung lebih bervariasi (belum tercemar hingga tercemar sedang). Kondisi ini terjadi karena adanya perbedaan lokasi pengambilan sampel dan metode yang digunakan dalam menilai status mutu air. Lokasi situs rujukan (Gunung Mas) pada penelitian ini berada di dalam hutan dan minimal mengalami gangguan dari aktivitas antropogenik, sedangkan di Gunung Putri merupakan area wisata dan sumber airnya relatif tergenang yang kemungkinan mendapat kontaminasi dari kotoran hewan, jatuhnya ranting daun, aliran *runoff*, maupun limbah dari pengunjung wisata. Indeks yang digunakan dalam menilai status mutu air pada penelitian ini menggunakan indeks kimia yang hanya menunjukkan tingkat pencemaran organik saja, sedangkan pada Pusarpedal menggunakan indeks pencemaran dan storet (KEPMENLH no 115 tahun 2001) yang didasarkan pada perbandingan dengan baku mutu yang cukup ketat dan banyak variabel selain pencemar organik.

Kontaminasi logam merkuri di Sungai Ciliwung secara umum relatif tinggi dan patut diwaspadai (Hg air: 0,074-2,34 ppb). Dari baku mutu US-EPA tentang kriteria kualitas air untuk melindungi kehidupan biota akuatik sebesar 2,4 ppb untuk pengaruh akut dan 0,0012 ppb untuk kronis (Novotny & Olem 1994), maka keberadaan merkuri di Sungai Ciliwung berpotensi menimbulkan gangguan bagi biota yang hidup di dalamnya. Berdasarkan PP No 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, maka di Stasiun Katulampa dan Cibinong telah melampaui kelayakan kelas mutu air untuk golongan I dan II (0,001 ppm).

Penilaian status pencemaran logam merkuri di sedimen dengan menggunakan indeks pencemaran logam menunjukkan adanya peningkatan beberapa tingkat di atas situs rujukan (Gunung Mas) sebagai konsentrasi latar belakangnya (*background concentration*). Hal ini sesuai dengan

pendapat Gerhardt *et al.* (2004) yang menyebutkan peningkatan aktivitas antropogenik di ekosistem air tawar pada umumnya akan meningkatkan konsentrasi logam beberapa kali lipat di atas konsentrasi latar belakangnya. Meningkatnya kontaminasi logam di sedimen umumnya berasal dari buangan limbah industri dan perkotaan, emisi atmosfer, dan pelindihan bahan kimia dari lahan pertanian (Mwamburi 2003). Kandungan merkuri di sedimen (80,58 ppb) yang masih dibawah baku mutu *threshold effect level* (TEL) dari Negara Canada (0,17 ppm) menunjukkan potensi logam merkuri di sedimen untuk menimbulkan toksisitas bagi biota akuatik relatif kecil (Burton 2002). Penggunaan indeks pencemaran logam yang didasarkan pada rasio konsentrasi terhadap situs rujukan belum tentu mencerminkan tingkat gangguan pada biota yang sebenarnya. Penggunaan indeks tersebut hanya menunjukkan seberapa besar tingkat pengkayaan logam tersebut pada masing-masing stasiun pengamatan.

Hasil analisis logam merkuri yang terakumulasi di larva Hydropsychid sudah menunjukkan adanya *bioavailability* logam tersebut. Pemaparan logam merkuri ke larva Trichoptera mungkin berasal dari kolom air maupun dilepaskannya logam tersebut dari sedimen. Oleh sebab itu jalur pemaparan logam tersebut ke hewan tersebut perlu dikaji lebih mendalam. Diduga aktivitas antropogenik yang mampu meningkatkan kandungan merkuri di Sungai Ciliwung berasal dari difusi hasil pembakaran bahan bakar fosil, industri logam dan industri farmasi yang berada di bantaran Sungai Ciliwung. Pengaruh atmosferik juga mampu menyumbang kontaminasi logam tersebut ke perairan. Dari hasil analisis air hujan yang telah dilakukan selama penelitian menunjukkan konsentrasi logam tersebut mencapai 0,07 ppb. Schroeder dan Munthe (1998) menyebutkan flux emisi merkuri ke udara secara global pada kondisi alami dapat mencapai 6 g/km²/tahun ($\approx 0,7$ ng/m²/jam).

Aktivitas antropogenik dapat mengubah struktur maupun fungsi dari organisme makrozoobentos yang hidup di ekosistem

sungai. Biasanya respon ekologi yang ditimbulkan akibat pencemaran maupun gangguan lainnya berupa menurunnya jumlah kekayaan taksa, kelimpahan, dan bergesernya komposisi taksa dari yang sensitif menjadi taksa yang toleran (Luoma & Carter 1991). Dari penelitian ini menunjukkan aktivitas antropogenik di sekitar Sungai Ciliwung mampu berkontribusi dalam mengubah kualitas air dan habitat yang berpengaruh bagi kehidupan larva Trichoptera. Blinn dan Ruiter (2009) menyebutkan berkurangnya tutupan kanopi dan modifikasi aliran akibat pertanian, pengalihan air, kanalisasi, dan invasi oleh vegetasi riparian eksotik mampu mengakibatkan hilangnya beberapa spesies Trichoptera. Aktivitas antropogenik di bantaran Sungai Ciliwung juga berpengaruh pada kontribusi banyaknya material *allochthonous* CPOM yang masuk ke sungai. Dengan semakin banyak konversi hutan atau vegetasi alami ke pertanian dan pemukiman penduduk, maka dapat menurunkan ketersediaan CPOM di perairan dan makanan berupa nektar yang dibutuhkan oleh Trichoptera dewasa, yang pada akhirnya akan mempengaruhi tipe fungsional *feeding* bagi larva Trichoptera yang mampu hidup disitu.

Dari **Gambar 4** dapat diketahui sensitifitas dari masing-masing metrik larva Trichoptera (Jumlah taksa Trichoptera, jumlah skor SIGNAL, % kelimpahan dominansi 3, Indeks SIGNAL) dalam mencerminkan perubahan kualitas lingkungan perairan. Metrik jumlah taksa merupakan salah satu metrik yang paling kuat dalam mencerminkan gangguan ekosistem akuatik karena adanya korelasi positif antara jumlah taksa dengan tingginya kualitas lingkungan (Lydy *et al.*, 2000). Metrik toleransi terhadap polutan (misalnya SIGNAL, indeks biotik dan sebagainya) sering digunakan dalam penyusunan indeks multimetrik/ integritas biotik karena organisme yang tergolong sensitif seringkali hilang/ menurun dengan menurunnya kualitas lingkungan. Ketidak-sensitifan indeks SIGNAL dalam mencer-

minkan gangguan pada penelitian ini disebabkan oleh adanya faktor pembagi dengan jumlah taksa yang ditemukan. Walaupun semakin banyak taksa yang ditemukan dengan nilai toleransi yang relatif kecil, maka dengan adanya faktor pembagi jumlah taksa yang ditemukan akan berpengaruh besar pada hasil nilai akhirnya. Namun jika tidak menggunakan faktor pembagi jumlah taksa yang ditemukan, nampaknya metrik penjumlahan skor toleransi dari SIGNAL cukup sensitif dalam memisahkan daerah yang belum dan sudah mengalami gangguan. Fenomena ini juga mirip dengan penggunaan indeks *biological monitoring working party* (BMWP) yang menggunakan penjumlahan skor lebih sensitif dalam mendeteksi pencemaran organik dibandingkan dengan *average score per taxon* /ASPT yang menggunakan pembagian dengan jumlah taksa yang ditemukan (Armitage *et al.*, 1983).

Hasil analisis CCA dapat diketahui preferensi masing-masing larva Trichoptera dalam penelitian ini. Larva *Helicopsyche*, *Apsilochorema*, *Caenota*, *Ulmerochorema*, *Chimarra*, *Antipodoecia*, *Diplectrona*, *Anisocentropus*, *Lepidostoma*, dan *Genus Hel.C* umumnya lebih menyukai hidup pada kondisi sungai yang relatif bersih (belum tercemar) dan kondisi habitat yang masih baik (dalam hutan yang tersusun oleh vegetasi alami). Kondisi habitat di situs rujukan (Gunung Mas) tipe vegetasinya masih alami dan relatif rapat, sehingga jatuhan daun dan ranting kayu ke sungai dapat berfungsi sebagai sumber makanan dan sarang bagi larva Trichoptera. Dari data CPOM diketahui semakin ke arah hilir (Cibinong) jumlah material CPOM banyak mengalami pengurangan, kondisi ini dapat mengubah fungsional *feeding* dan jenis dari larva Trichoptera yang hidup di perairan. Larva Trichoptera yang bertipe pencabik/ *shredder* (pemakan CPOM) masih banyak dijumpai di daerah situs rujukan antara lain *Alloecella*, *Caenota*, *Lepidostoma*, dan *Anisocentropus*. Semakin ke arah hilir, maka organisme tersebut

sudah tidak dijumpai lagi karena rendahnya CPOM. Blinn dan Ruiters (2009) menyebutkan Genus *Lepidostoma* lebih menyukai hidup pada daerah dataran tinggi 1000-2200 m dpl dan belum mengalami pencemaran dan gangguan pada *embeddedness* saluran (banyaknya batu yang tertanam di dasar perairan) < 10%. Sedangkan di daerah hilir yang kanopi vegetasinya jauh banyak berkurang lebih banyak dijumpai Trichoptera yang bertipe *filtering collector* seperti *Cheumatopsyche*.

Larva *Cheumatopsyche* termasuk dalam tipe penyaring/*filter feeding* yang lebih mengandalkan partikel makanan yang hanyut oleh arus air (seston), maka hewan tersebut memodifikasi luas mata jaringnya. Alexander & Smock (2005) menyebutkan larva Hydropsychid mampu memodifikasi ukuran mata jaring guna efisiensi dalam menyaring makanan (seston) yang hanyut dalam kolom air. Secara umum *Hydropsyche* mempunyai ukuran mata jaring yang lebih besar dibandingkan dengan *Cheumatopsyche* karena ukuran partikel seston di daerah hilir biasanya berukuran lebih kecil. Ditinjau dari luas jaring *Cheumatopsyche* menunjukkan adanya *trend* penurunan dari daerah hulu (Gunung Mas) menuju ke arah hilir (Cibinong). Di bagian hulu yang masih didominasi oleh CPOM, maka ukuran dari jaring relatif lebih besar yaitu ($0,29 \text{ mm}^2$) dan cenderung mengecil di bagian hilir/ Stasiun Cibinong ($0,05 \text{ mm}^2$). Hal ini akan memudahkan bagi larva *Cheumatopsyche* untuk menangkap partikel makanan yang lebih halus dan terbawa oleh arus air. Di samping itu hewan tersebut relatif toleran terhadap pencemaran organik dan kontaminasi logam merkuri, sehingga mampu mendominasi di bagian hilir (Katulampa dan Cibinong). Canfield *et al.* (1994) menyebutkan dominansi famili Hydropsychidae merupakan sinyal awal dari meningkatnya kontaminasi logam berat di perairan. Larva *Cheumatopsyche* spp. dan *Hydropsyche betteni* termasuk Trichoptera yang paling toleran terhadap pencemaran yang biasanya hidup di daerah dengan tingkat urbanisasi yang tinggi (Alexander & Smock 2005). Namun seba-

liknya Chakona *et al.* (2009) menyebutkan larva *Cheumatopsyche* relatif sensitif pada air yang sudah tercemar dan keberadaan hewan tersebut akan meningkat kembali di bagian hilir ketika kualitas airnya mengalami peningkatan.

KESIMPULAN

Aktivitas antropogenik yang terjadi di sekitar Sungai Ciliwung dapat mengubah struktur komunitas dari larva Trichoptera.

Tiga metrik biologi dari komunitas larva Trichoptera yang dapat digunakan dalam mendeteksi gangguan ekologi pada Sungai Ciliwung antara lain: jumlah taksa, % kelimpahan 3 taksa yang paling dominan, dan jumlah skor toleransi dari indeks SIGNAL.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya haturkan pada Sdr. Gunawan P. Yoga dan Tri Suryono yang telah meluangkan waktunya dalam membantu penulis selama penelitian. Tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang turut berkontribusi dalam mengoreksi naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akagi H., and H. Nishimura, 1991. Speciation of Mercury in The Soils and Sediments Environment, dalam T. Suzuki(ed): *Advances in Mercury Toxicology*, Plenum Press New York, hlm 53-76.
- Alexander S. and L.A. Smock, 2005. Life Histories and Production of *Cheumatopsyche analis* and *Hydropsyche betteni* (Trichoptera: Hydropsychidae) in an Urban Virginia Stream, *Northeastern Naturalist* 12 (4): 433-446
- Anonim, 2011. Peran dan Tanggung Jawab Stakeholder dalam Pengelolaan Sungai Ciliwung (Masterplan Pengelolaan Sungai Ciliwung dan Kemajuan

- Penerapannya), Rakernis, Pusarpedal, Jakarta
- APPHA, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 19th edition, American Public Association/American Water Work Association/Water Environment Federation Washington DC, USA.
- Armitage P.D., D. Moss, J.F. Wright, M.T. Furse, 1983. The Performance of a New Biological Water Quality Score System Based on Macro-invertebrates Over a Wide Range of Polluted Running-Water sites, *Water Research* 17: 333-347pp.
- Bank M.S, Burgess J.R, Evers D.C, Loftin C.S, 2007. Mercury Contamination of Biota from Acadia National Park, Maine: A Review. *Environmental Monitoring and Assessment* 126:105-115.
- Barlocher F., 1983. Seasonal Variation of Standing Crop and Digestibility of CPOM in a Swiss Jura Stream. *Ecology* 64(5):1266-1272.
- Berra E, M. Forcella, R. Giacchini, B. Rossaro, P. Parenti, 2006. Biomarkers in Caddisfly Larvae of The Species *Hydropsyche Pellucidula* (Curtis, 1834) (Trichoptera: Hydropsychidae) Measured in Natural Populations and after Short Term Exposure to Fenitrothion. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* 76: 863-870.
- Blinn D.W., and D.E. Ruiter, 2009. Caddisfly (Trichoptera) Assemblages Along Major River Drainages In Arizona, *Western North American Naturalist* 69(3): 299-308
- Burton, J. A., 2002. Sediment Quality Criteria in Use Around The World, *Limnology* 3: 65-75.
- Canfield, T. J., N. E. Kimble, W. G. Grumbaugh, F. J. Dwyer, C. G. Ingersoll, J. F. Fairchild, 1994. Use of benthic macroinvertebrate community structure and sediment quality triad to evaluate metal contaminated sediment in the upper Clark Fork River, Montana, *Environ Toxic. Chem.* 13: 1999-2012
- Carlisle DM, and W.H. Clements, 2003. Growth and Secondary Production of Aquatic Insects along a Gradient of Zn Contamination in Rocky Mountain Streams. *Journal of the North American Benthological Society* 22(4):582-597.
- Carter J.L., V.H. Resh, 2001. After Site Selection and Before Data Analysis: Sampling, Sorting, and Laboratory Procedures Used in Stream Benthic Macroinvertebrate Monitoring Program by USA State Agencies, *Journal of the North American Benthological Society* 20(4): 658-682.
- Chakrabarty D, S.K. Das 2006. Alteration of Macroinvertebrate Community in Tropical Lentic Systems in Context of Sediment Redox Potential and Organic Pollution. *Biological Rhythm Research*. 37(3): 213 - 222.
- Chakona, A., C. Phiri, J.A. Day 2009, Potential for Trichoptera communities as biological indicators of morphological degradation in riverine system, *Hydrobiologia* 621:155-167.
- Chen T.B., Y.M. Zheng, M. Lei, Z.C. Huang, H.T. Wu, H. Chen, K.K. Fan, K. Yu, X. Wu, Q.Z. Tian, 2005. Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Soils of Urban Parks in Beijing, China. *Chemosphere* 60: 542 - 551.
- Courtney L.A, and W.H. Clements, 2002. Assessing The Influence of Water and Substratum Quality on Benthic Macroinvertebrate Communities in A Metal-Polluted Stream: an Experimental Approach, *Freshwater Biology* 47: 1766-1778.
- Dahl J., R.K. Johnson, L. Sandin, 2004. Detection of Organic Pollution of Streams in Southern Sweden Using Benthic Macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 516: 161-172.
- Dean J.C, St. R.M. Clair, D.I. Cartwright, 2010. Identification Keys to Australian Families and Genera of Caddis-Fly Larvae (Trichoptera). Identification & Ecology Guide No. 50, Thurgoon, NSW.

- Gerhardt, A., L.J. De Bisthoven, A.M.V.M. Soares, 2004. Macroinvertebrate Response to Acid Mine Drainage: Community Structure and On-line behavioral toxicity bioassay. *Environmental Pollution* 130: 263-274.
- Gooderham J., E.Tsyrlin, 2002. The Waterbug Book. Collingwood. Victoria. Australia. CSIRO Publishing.
- Holzenthal R.W. 2009. Trichoptera. Di dalam: Encyclopedia of Limnology, Netherland, Elsevier Inc. hlm 56-467.
- Jin H.S, and G.M. Ward, 2007. Life History and Secondary Production of *Glossosoma nigrior* Banks (Trichoptera: Glossosomatidae) in Two Alabama Streams with Different Geology, *Hydrobiologia* 575:245-258.
- Kido M, Yustiawati, M.S. Syawal, Sulastri, T. Hosokawa, S. Tanaka, T. Saito, T. Iwakuma, M. Kurasaki, 2009. Comparison of General Water Quality of Rivers in Indonesia and Japan, *Environmental Monitoring and Assessment* 156:317-329.
- Kirchoff W., 1991. Water Quality Assessment Based on Physical, Chemical, and Biological Parameters for Citarum River Basin, Bandung.
- Lydy M. J., A. J. Strong, T. P. Simon, 2000, Development of an Index of Biotic Integrity for the Little Arkansas River Basin, Kansas, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 39: 523-530
- Luoma, S. N. , and J. L. Carter, 1991. Effect of trace metal on aquatic benthos, in M.C. Newman and A.W. McIntosh (eds): Metal ecotoxicology: concepts and applications. Lewis Publishers. Chelsea. Michigan. 261-300
- Mackay R.J, Wiggins G.B. 1979. Ecological diversity in Trichoptera. *Annual Review of Entomology* 24:185-208.
- Mwamburi, J., 2003. Variations in Trace Elements in Bottom Sediments of Major Rivers in Lake Victoria's Basin, Kenya, *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 8: 5-13.
- Norris R.H, and M.C.Thoms, 1999. What Is River Health ?. *Freshwater Biology* 41: 197-209.
- Novotny V. and H. Olem, 1994, Water Quality Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold, USA, 1054
- Pennuto C.M, O.P. Lane, D.C. Evers, R.J. Taylor, J. Loukmas, 2005. Mercury in the Northern Crayfish, *Orconectes virilis* (Hagen), in New England, USA. *Ecotoxicology*, 14: 149-162.
- Sola C., and N. Prat, 2006. Monitoring Metal and Metalloid Bioaccumulation in *Hydropsyche* (Trichoptera, Hydropsychidae) to Evaluate Metal Pollution in a Mining River. Whole Body Versus Tissue Content. *Science of the Total Environment* 359: 221- 231.
- Scroeder W.H. and J. Munthe, 1998. Atmospheric Mercury An Overview, *Atmospheric Environment* 32 (5):809-822
- Singer G.A. and T. J. Battin, 2007. Anthropogenic Subsidies Alter Stream Consumer-Resource Stoichiometry, Biodiversity, and Food Chains, *Ecological Applications* 17(2): 376-389.
- Smoley C.K., 1992. *Methods for The Determination of Metals in Environmental Samples*, 200.2. US-EPA, Cincinnati, Ohio.
- Sola C., N. Prat, 2006. Monitoring Metal and Metalloid Bioaccumulation in *Hydropsyche* (Trichoptera, Hydropsychidae) to Evaluate Metal Pollution in a Mining River. Whole Body Versus Tissue Content, *Science of the Total Environment* 359: 221- 231.
- Ter Braak C.J.F. and P.F.M. Verdonschot 1995. Canonical Correspondence Analysis and Related Multivariate Methods in Aquatic Ecology, *Aquatic Science* 57 (3): 255-288.
- Timm H., M. Ivask, T. Möls, 2001. Response of Macroinvertebrates and Water Quality to Long-Term Decrease in Organic Pollution in Some Estonian Streams During 1990-1998. *Hydrobiologia* 464: 153-164.
- USEPA, 1986, *Quality Criteria for Water*, EPA/440/5-86/001, Washington DC.
- Vuori K. and Kukkonen J.V., 1996. Metal Concentrations in *Hydropsyche pellucidula* Larvae (Trichoptera,

- Hydropsychidae) in Relation to The Anal Papillae Abnormalities and Age of Exocuticle, *Water Research* 30 (10): 2265-227.
- Wiggins G.B., 1996. Trichoptera Families, Di dalam: Merrit RW, Cummins KW , editor. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Ed ke-3. Kendall Hunt Publishing Company.
- Winner R.W, M.W Bossel, M.P. Farrell, 1980. Insect Community Structure as an Index of Heavy Metal Pollution in Lotic Ecosystems, *Canadian Journal Fish and Aquatic Science* 37: 647-655